

NUTRICION Y RIEGO POR GOTEO (I)

Pérez Melián, G.

Departamento de Química Agrícola

Servicio Agrícola

Caja Insular de Ahorros

Gran Canaria, Lanzarote, Fuerteventura

El riego por goteo ha supuesto para el agricultor una herramienta de trabajo útil que le ha permitido llevar al cultivo y poner en el entorno de las raíces, el agua, los nutrientes y los productos fitosanitarios que las plantas necesitan para su desarrollo.

Esto ha significado de una manera práctica, el ahorro de agua, y nutrientes y la utilización para riego de aguas de mala calidad con menor riesgo, obteniendo como resultante el aumentar el número de hectáreas plantadas, limitadas por las necesidades de agua.

Este trabajo describe los pasos previos que se deben dar para mayor efectividad del riego e intenta explicar en forma práctica como debe calcularse el mismo.

1.— INTRODUCCION

Las incógnitas más importantes que son necesarias conocer perfectamente para que un riego se realice con garantías de éxito, es decir, con aprovechamiento integral del agua, a fin de que la planta vea cubiertas sus necesidades hídricas y nutritivas, son las siguientes:

- a) Conocimiento de las características químicas del agua de riego. (Análisis y su interpretación correcta).
- b) Preparación de una solución nutritiva adecuada, añadiendo las sales fertilizantes necesarias al agua, para que la planta disponga de lo necesario.
- c) Adición de esta solución al suelo (goteo) en cantidad y distribución correcta a fin de que la planta tome y vea cubiertas sus necesidades nutritivas sin gasto adicional de energía para lograrlas.

Entendemos que todo lo anteriormente expuesto se puede llevar a cabo de la siguiente manera:

- a) Efectuando un buen análisis del agua de riego que disponemos, y si es necesario modificar los parámetros del mismo.
- b) Preparando adecuadamente una solución nutritiva para las necesidades del cultivo.
- c) Dosificando racionalmente esta solución a través de un sistema adecuado, previo el conocimiento e interpretación de las características físicas del suelo.

2.— ANALISIS DEL AGUA DE RIEGO

Introducción

La importancia del análisis y el conocimiento de la calidad de un agua de riego es grande, ya que los orígenes (pozos, galerías, desalinizadoras, abasto público, etc.) y su manipulación (mezclas, conducciones, estanques, etc.), hacen que el agricultor no disponga de un agua de calidad uniforme durante su cultivo.

Por estas razones, creemos que el conocimiento de los riesgos que puedan existir con el uso de aguas de determinada calidad es imprescindible y que este conocimiento se adquiere en la interpretación correcta de un análisis.



Análisis

Toda determinación analítica nos debe llevar al conocimiento de la composición de las sustancias presentes y la cantidad de las mismas. La composición de los constituyentes presentes o mejor de los iones presentes en el agua natural son perfectamente conocidos. Así, podrán existir los cationes: sodio, potasio, calcio, y magnesio en cantidades apreciables y otros cationes como, hierro, manganeso, estroncio, etc. en pequeñísimas cantidades, y los aniones: cloruro, bicarbonato, carbonato y sulfato en proporción superior a otros aniones menos importantes como el ión fluoruro.

Como resumen, podemos decir que un buen análisis de agua debe llevar la determinación del siguiente balance iónico:

| Cationes | Aniones |
|----------|-------------|
| Sodio | Cloruro |
| Potasio | Carbonato |
| Calcio | Bicarbonato |
| Magnesio | Sulfato |

Las cantidades de estos iones deberán expresarse, para facilitar los cálculos, en las unidades corrientes para indicar la concentración de una disolución (peso de soluto en un determinado volumen de disolución) y en unidades químicas. Así se deberán expresar en ppm. (partes por millón o miligramos por litro) y en miliequivalentes por litro de disolución.

Además de las determinaciones analíticas anteriormente descritas se deben efectuar dos determinaciones complementarias: la conductividad o conductancia eléctrica y el pH.

Métodos analíticos

Las determinaciones cuantitativas de los iones presentes en un agua son relativamente fáciles y están al alcance de cualquier laboratorio aunque no sea especializado en el tema.

Los métodos recomendados para estas determinaciones son los siguientes:

| | |
|---------------|----------------------------------|
| Sodio | Fotometría de Llama |
| Potasio | Fotometría de Llama |
| Calcio | Volumetría con EDTA |
| Magnesio | Volumetría con EDTA |
| Cloruro | Volumetría con Nitrato de Plata |
| Carbonato | Volumetría con HCl |
| Bicarbonato | Volumetría con HCl |
| Sulfato | Gravimetría con Cloruro de Bario |
| pH | Determinación potenciométrica |
| Conductividad | Determinación Conductométrica |

Existen otros métodos instrumentales de análisis tales como: Absorción Atómica y Espectrofotometría etc., muy útiles cuando se poseen los aparatos adecuados.

Los detalles específicos de cada método se pueden encontrar en cualquier tratado de Química Analítica Cuantitativa.

Indices

Una vez efectuado el análisis del agua, a partir de los datos numéricos del mismo debe calcularse y comprobarse que:

- La suma de los cationes expresada en miliequivalentes por litro, debe ser igual a la suma de los aniones en las mismas unidades.
Si la diferencia entre las sumas es apreciable, es señal de error en alguna determinación o algún ión no ha sido determinado.
- La relación entre la conductividad (micromhos) y la suma total de cationes en miliequivalentes por litro debe ser aproximadamente 100. Aguas con alto contenido en cloruros y sodio tendrán una relación mayor que 100 y agua con contenido alto en bicarbonatos y sulfatos, calcio y magnesio tendrán una relación menor que 100.
- El producto de la conductividad (micromhos) por el factor 0.64 nos dará el contenido total de sales disueltas en miligramos por litro.

- d) El índice "Carbonato sódico residual" se calculará efectuando la operación:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

donde los iones se expresan en miliequivalentes por litro.

- e) El índice "Relación de absorción de sodio" se calculará a partir de la expresión:

$$\text{SAR} = \text{Na} / \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2}$$

donde los iones se expresan en miliequivalentes por litro.

- f) El índice "Relación de magnesio" se calculará mediante la expresión:

$$\% \text{ Mg} = (\text{Mg} / (\text{Ca} + \text{Mg})) \times 100$$

pH del agua

La acidez de un agua de riego de origen natural (pozo o galería) es debida a la presencia de dióxido de carbono libre (CO_2), mientras que la alcalinidad se debe a la existencia de iones carbonato o bicarbonato.

Así aguas con pH inferiores a 7 poseen CO_2 libre posible de eliminar en la mayoría de los casos por aireación o ventilación de las mismas; mientras aguas con pH superiores a 7 indican aguas con iones bicarbonato, o iones carbonato cuando el pH sea superior a 8,2. En este caso el agua de riego debe corregirse con la adición de un ácido (sulfúrico, fosfórico nítrico), especialmente cuando se apliquen técnicas de goteo, ya que de esta manera se puede evitar las incrustaciones en las tuberías.

La presencia de CO_2 libre o iones bicarbonato no implica en la mayoría de los casos perjuicio para el desarrollo de un cultivo, sin embargo, la presencia de iones carbonato no es recomendable, pues puede producirse lesiones en los tallos de las plantas pequeñas o el bloqueo de muchos iones nutrientes, especialmente de los micronutrientes manganeso, hierro y cinc.

Una manera de valorar la presencia de los iones carbonato y bicarbonato es mediante el índice Carbonato sódico residual, anteriormente descrito. De una manera simple podemos decir:

| RSC | Calidad del Agua |
|----------------|----------------------------|
| mayor que 2.5 | Agua no apta para riego |
| 1.25 - 2.5 | Agua ligeramente peligrosa |
| menor que 1.25 | Agua segura |

Conductividad

Las disoluciones de sales conducen la corriente eléctrica y se comportan como conductores metálicos, obedeciendo a las leyes de la electricidad. Este comportamiento es debido a la presencia de los iones formados al disolverse las sales, que pueden moverse al paso de la corriente y ser portadores de la misma. La magnitud que mide esta propiedad se llama conductividad, inversa de la resistencia eléctrica, expresándose en omhios recíprocos o mhos.

La conductancia de las disoluciones se expresa como conductancia específica, que es la conductancia de una columna de dicha solución comprendida entre dos electrodos de 1 cm. cuadrado de superficie y separados 1 cm., siendo la unidad el mho/cm. En Química Agrícola se utilizan más frecuentemente las dos fracciones decimales mili = 10^{-3} y micro 10^{-6} , y actualmente en el Sistema Internacional (SI) se ha impuesto la denominación Siemens (S), equivalente al mho/cm.

El producto de la conductividad por 0.64 nos dará el contenido de sales totales disueltas en miligramos por litro, y así podemos obtener a partir de la conductividad una estimación de la cantidad total de sales presentes en un agua.

Clasificando las aguas por su conductividad podemos decir:

| Conductividad (micromhos/cm.) | Características |
|----------------------------------|---|
| 100 - 250 | Agua de baja salinidad apta para todos los cultivos |
| 250 - 750 | Apta para cultivos con tolerancia moderada a sales |
| 750 - 2.250 | Apta para cultivos poco sensibles a sales y suelos con buen drenaje |
| mayor - 2.250 | No apropiada para riego. Se puede utilizar con técnicas especiales |

El ión Sodio

El ión sodio no es un elemento nutriente, por lo tanto la adición del mismo al suelo como consecuencia del uso de agua de riego de mala calidad (salinas o salobres) puede perjudicar el desarrollo y rendimiento de un cultivo y la inutilización futura de las tierras agrícolas, ya que entre otras razones la presencia de gran cantidad de este elemento disminuye la proporción de otros elementos nutrientes

como son el Calcio, Magnesio y Potasio y por tanto alteran una fórmula racional de cultivo.

El control de este elemento en el suelo y el riesgo que corremos al regar se mide mediante la aplicación del índice SAR, anteriormente definido.

Experimentalmente se han valorado cifras de este índice, considerando los límites expresados en la siguiente tabla como límites simples de este parámetro:

| SAR | Riego | Características |
|----------|----------|--|
| 0 - 10 | Bajo | Aguas aptas para riego. Para cultivos muy sensibles al Sodio hay que tener mucho control |
| 10 - 18 | Medio | Aguas que pueden ser usadas con suelos con buen drenaje y ricos en materia orgánica |
| 18 - 26 | Alto | Aguas peligrosas. Necesitan buen drenaje y enmiendas químicas |
| mayor 26 | Muy alto | Aguas no aptas para riego |

Las relaciones entre SAR y Conductividad han sido expuestas anteriormente, y deben contemplarse conjuntamente. En este caso la clasificación de las aguas debe realizarse con el diagrama, publicado por el De-

partamento de Agricultura de los Estados Unidos. (Diagrama 1).

La clasificación y características de las aguas de riego de acuerdo con el diagrama es la siguiente:

| Clase | Características del agua de riego |
|-------------------|---|
| C_1S_1 | Excelente para riego |
| C_1S_2 | Agua de muy baja salinidad, útil en suelos con buen drenaje |
| C_1S_3 C_1S_4 | Aguas con baja salinidad, se necesita compensar la presencia de ión. Útiles para preparar soluciones nutritivas (goteo) |
| C_2S_1 | Apta para riego |
| C_2S_2 | Apta con suelos con buen drenaje y ricos en materia orgánica |
| C_2S_3 C_2S_4 | Útiles en cultivos con cierta tolerancia a sales y para preparar soluciones nutritivas (goteo) |
| C_3S_1 | Apta para riego de cultivos tolerantes a sales. |
| C_3S_2 | Aptas para riego en suelos con buen drenaje y cultivos tolerantes a sales |
| C_3S_3 C_3S_4 | Aguas peligrosas, necesitan suelos con buen drenaje, cultivos tolerantes a sales y enmiendas químicas |
| C_4S_1 | Aptas para riego en cultivos muy tolerantes a sales |
| C_4S_2 | Aptas con técnicas especiales de riego y cultivos muy tolerantes a sales |
| C_4S_3 C_4S_4 | Aguas muy peligrosas para riego. No aptas |

El ión Cloruro

El ión cloruro en cantidades muy pequeñas es un elemento imprescindible para el desarrollo de una planta, sin embargo, por encima de ciertos límites puede ser peligroso.

El contenido de cloruros en un agua de riego está ligado estrechamente con el conte-

nido de sales totales, por lo que un agua con alta conductividad debe tener alto nivel de cloruro. La bibliografía existente no da cifras concretas de cloruros peligrosos sino cifras de sales totales.



**CAJA INSULAR
DE AHORROS**

GRAN CANARIA · LANZAROTE · FUERTEVENTURA

Servicio Agrícola

Laboratorios Química
Fitopatología

Teléfonos: 700035 - 700126
700127 - 700218

Telex: 95043

Apartado: 854

Las Palmas de Gran Canaria - 2

Su referencia

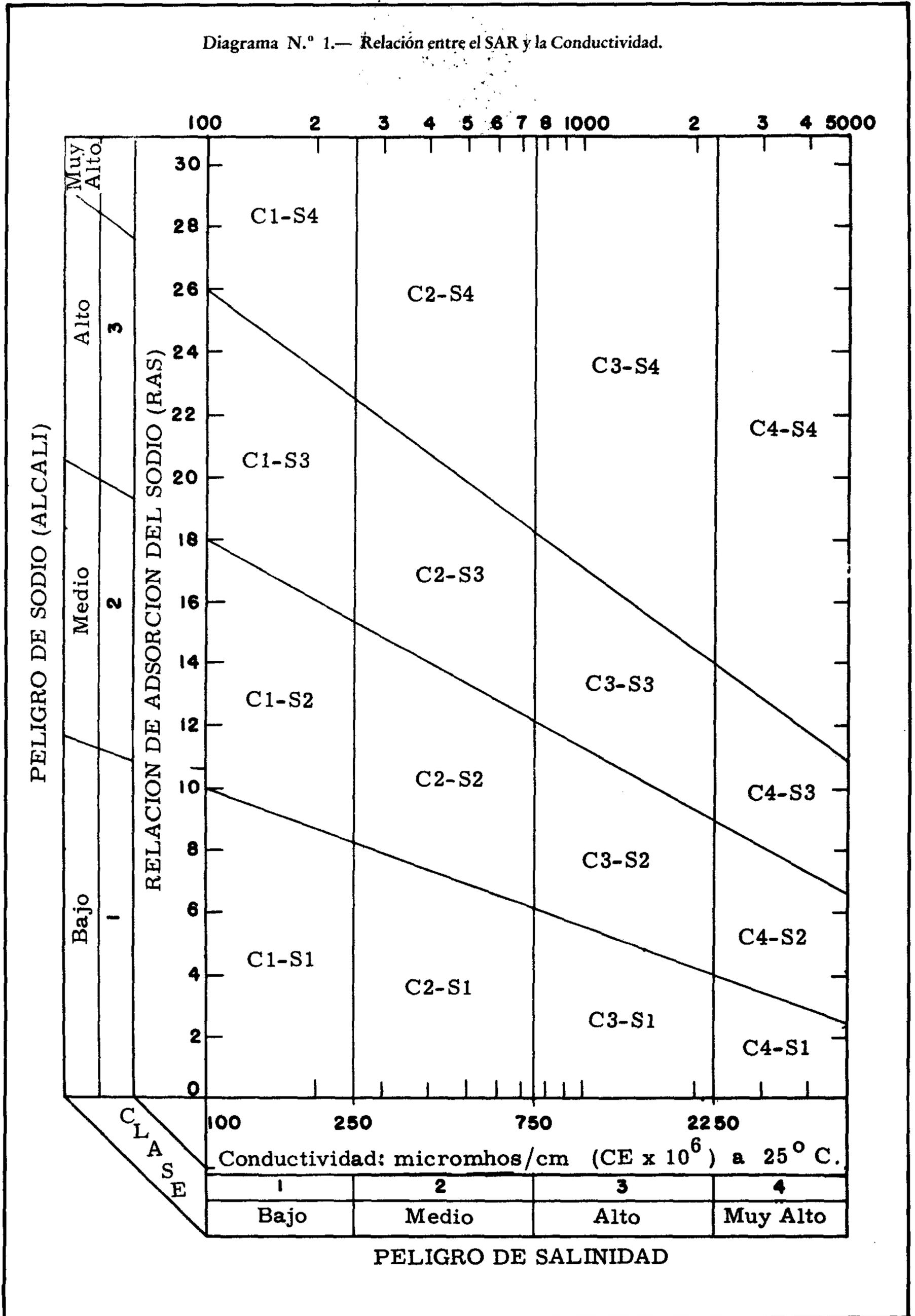
Laboratorio
nuestra referencia

asunto **ANALISIS DE AGUA**
REF./

| | | | |
|--|---------------------------------|---------|---------|
| Conductividad (micromhos/cm. a 20° C) | | 2.060 | |
| pH | | 6,26 | |
| | | ppm | mEq./L. |
| Cationes: | Calcio (Ca) | 124,0 | 6,20 |
| | Magnesio (Mg) | 89,9 | 7,40 |
| | Sodio (Na) | 209,0 | 9,09 |
| | Potasio (K) | 17,3 | 0,44 |
| Aniones: | Carbonato (CO ₃) | 0 | 0 |
| | Bicarbonato (CO ₃ H) | 1.099,2 | 18,02 |
| | Sulfato (SO ₄) | 2,9 | 0,06 |
| | Nitrato (NO ₃) | | |
| | Fluoruro (F) | | |
| | Cloruro (Cl) | 179,3 | 5,05 |
| RSC = Carbonato sódico residual (CO ₃ + CO ₃ H) - (Ca + Mg) = 4,42 | | | |
| SAR = Relación de adsorción de Sodio $\left(Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2} \right) = 3,49$ | | | |
| <p>Suma de Cationes = 23,13 mEq./L. Suma de Aniones = 23,13 mEq./L. Conductividad/Suma de Cationes = 2.060/23,13 = 89 Sales totales = 2.060 x 0,64 = 1.318 ppm. Índice de Magnesio = 54,4 % Clasificación calidad = C₃S₁ AGUA APTA PARA RIEGO DE CULTIVOS TOLERANTES A SALES</p> | | | |

Ejemplo N.º 1.— Análisis de agua.

Diagrama N.º 1.— Relación entre el SAR y la Conductividad.





3.— EL AGUA Y EL SUELO

El agua permanece en el suelo mediante fuerzas de absorción o por presión hidrostática, y tiende a dejar el mismo por evaporación, por gravedad o por absorción en las raíces de las plantas mediante osmosis.

Como consecuencia de todos estos factores, el agua se mueve en el suelo debido a su "potencial" (energía), de zonas de mayor potencial a zonas de potencial más bajo.

El potencial o tensión del agua está formada de tres componentes principales:

- potencial de presión. (fuerza de gravedad, presión hidrostática, etc.).
- potencial osmótico. (Presión osmótica de la solución del suelo).
- potencial matricio. (Atracciones físicas o químicas, entre el agua y las partículas del suelo, tales como: fuerzas de capilaridad, hidratación de coloides, etc.).

Las unidades de expresión de este potencial del agua son las unidades de expresión de presión:

- atmósfera (atm.)
- bares
- dinas / cm²
- libras / pulgada²

Las relaciones entre las unidades son las siguientes:

$$1 \text{ bar.} = 10^6 \text{ dinas/cm}^2 = 0,985 \text{ atm.}$$

$$1 \text{ atm.} = 14,69 \text{ libras / pulgada}^2 = 1,01 \text{ bar.}$$

La relación entre el potencial del agua y el contenido de humedad del suelo ha sido estudiado y de una manera general se representa en el gráfico: Curva de pF.

La determinación en el laboratorio de esta curva y sus diferentes puntos es muy fácil y sólo necesita los medios apropiados para la misma.

La muestra de suelo una vez seca, se pasa por un tamiz de 2 mm. y se preparan duplicados de 25 g. aproximadamente.

Se colocan sobre placas cerámicas que facilitan el drenaje del agua a una presión determinada, en unos anillos de caucho que sirvan de contenedores de las muestras. Se colocan unas 12 muestras en cada placa cerámica y se inundan con exceso de agua permaneciendo en reposo durante 16 horas. Se elimina el exceso de agua después de este período de tiempo y se llevan a la cámara de presión. Se conectan las placas cerámicas con el exterior, se cierra la cámara de presión y se le somete mediante una botella de aire o compresor a la presión de estudio. Cuando la salida de agua por el tubo de drenaje se ha estabilizado al cabo de unas horas, se elimina la presión interior, se abre la cámara y se le determina a la muestra de suelo de humedad calentándola a 105° C en una estufa.

Mediante esta técnica podemos calcular perfectamente la humedad que retiene un suelo a una determinada presión equivalente a la tenacidad que ofrece el suelo en ese momento.

Los puntos de presión que normalmente se determinan son 15, 3, 1, 0.33, 0.1 y 0 at.

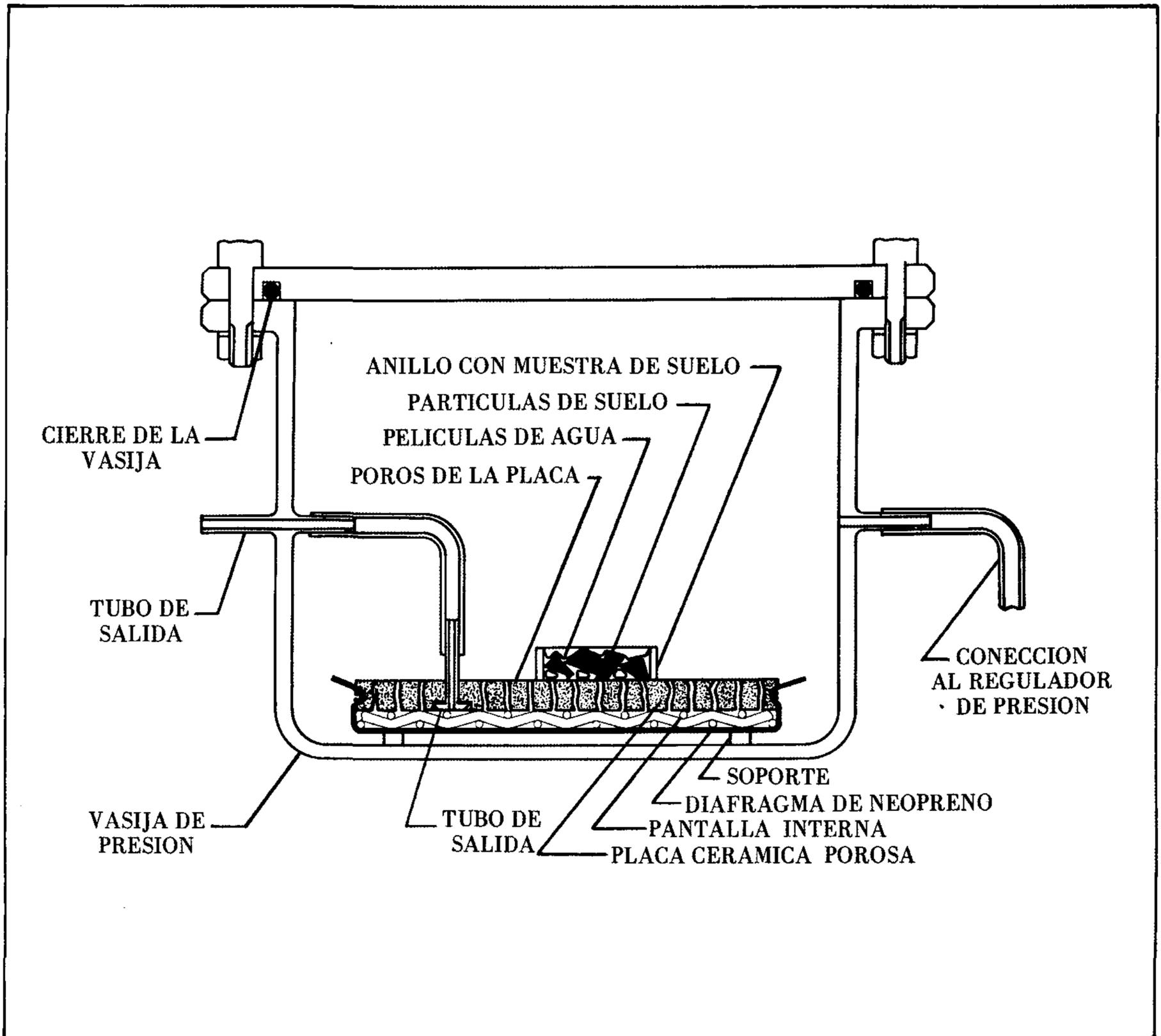
El gráfico tiene tres puntos importantes: Punto de marchitamiento, Capacidad de Campo y Saturación. Estos tres puntos corresponden de una manera general a presiones de 15, 1/3 y 0 atmósferas.

En el primer punto, Punto de marchitamiento, las plantas necesitan emplear una energía enorme para poder captar el agua retenida en los poros del suelo. Prácticamente esto es imposible y a partir de este punto las plantas se marchitan en un proceso irreversible.

El segundo punto, el más importante, Capacidad de Campo corresponde al paso de los poros que retienen agua a los poros de drenaje, es decir a partir de este momento el agua ya no es retenida en el suelo y empieza a moverse por acción de la gravedad. En este punto la planta dispone de agua de fácil captación.

En el tercer punto, todos los poros del suelo están llenos de agua y la tensión de la misma por acción del suelo es cero.

La disposición de las muestras de suelo y las placas cerámicas en las cámaras de presión se disponen en el gráfico adjunto.



Dos determinaciones de Curvas de pF diferenciadas se exponen en los siguientes gráficos y corresponden a un suelo arcilloso y a un suelo arenoso, indicándose en ellos con números del 1 al 12 los volúmenes siguientes:

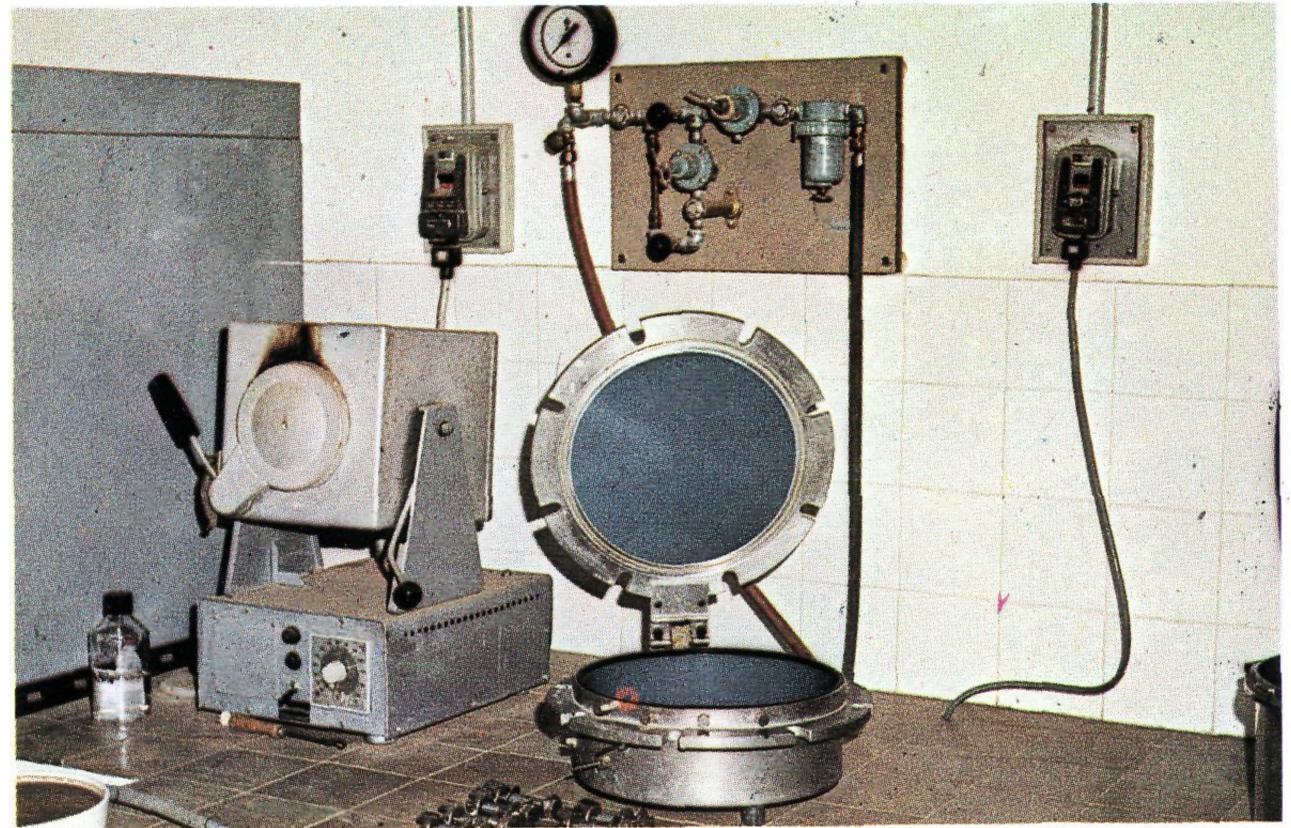
- 1 - Poros de drenaje
- 2 - Poros de drenaje rápido
- 3 - Poros de drenaje lento
- 4 - Poros que retienen el agua
- 5 - Poros de uso
- 6 - Poros que no se usan
- 7 - Volumen de poros de uso

- 8 - Volumen de poros que retienen el agua
- 9 - Volumen de poros de drenaje
- 10 - Volumen de poros de drenaje lento
- 11 - Volumen de poros de drenaje rápido
- 12 - Volumen de poros que no se usan

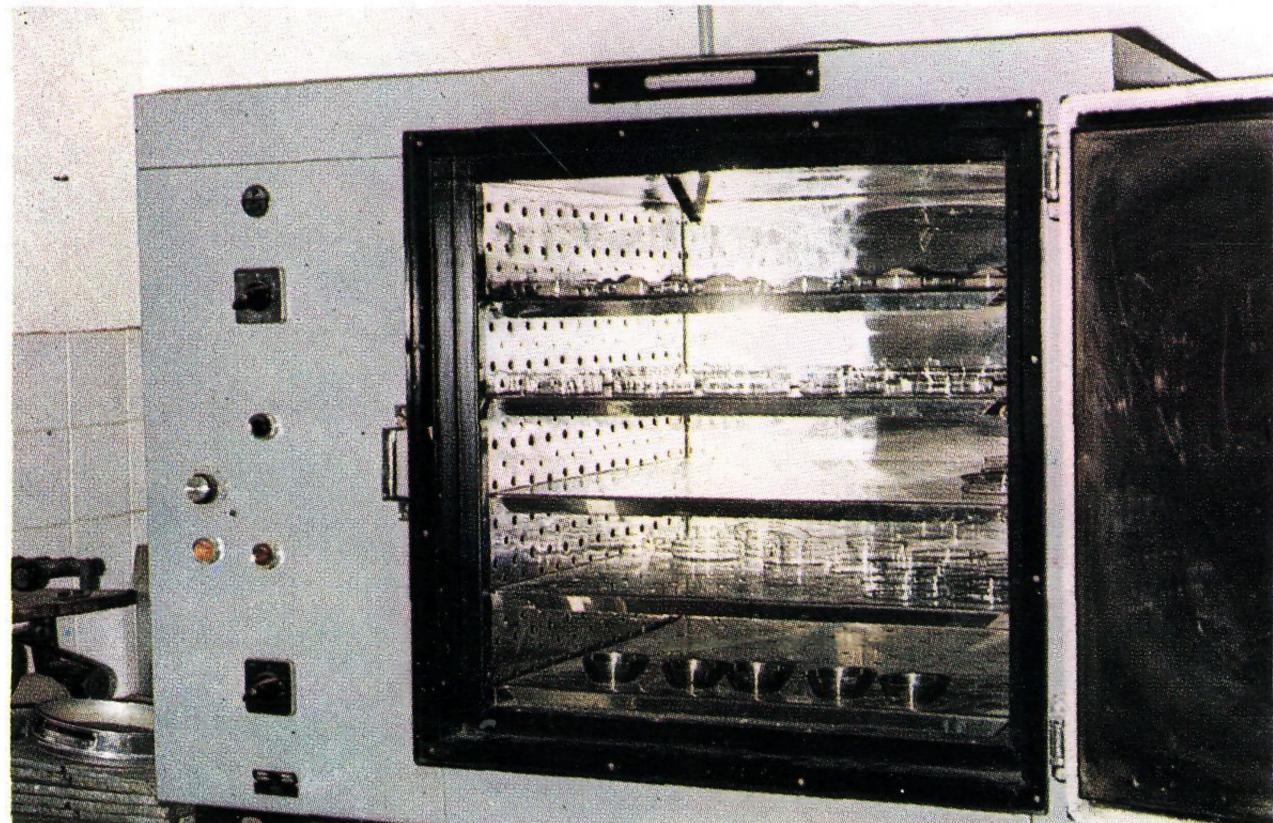
La aplicación práctica de la Curva de pF es inmediata y fundamental para el uso racional del agua en agricultura. El empleo especialmente en riego por goteo es útil y recomendamos su utilización en combinación con el uso de tensiómetros.



Muestras de suelo sobre las placas de cerámica



Cámara de presión



Desecado de las muestras



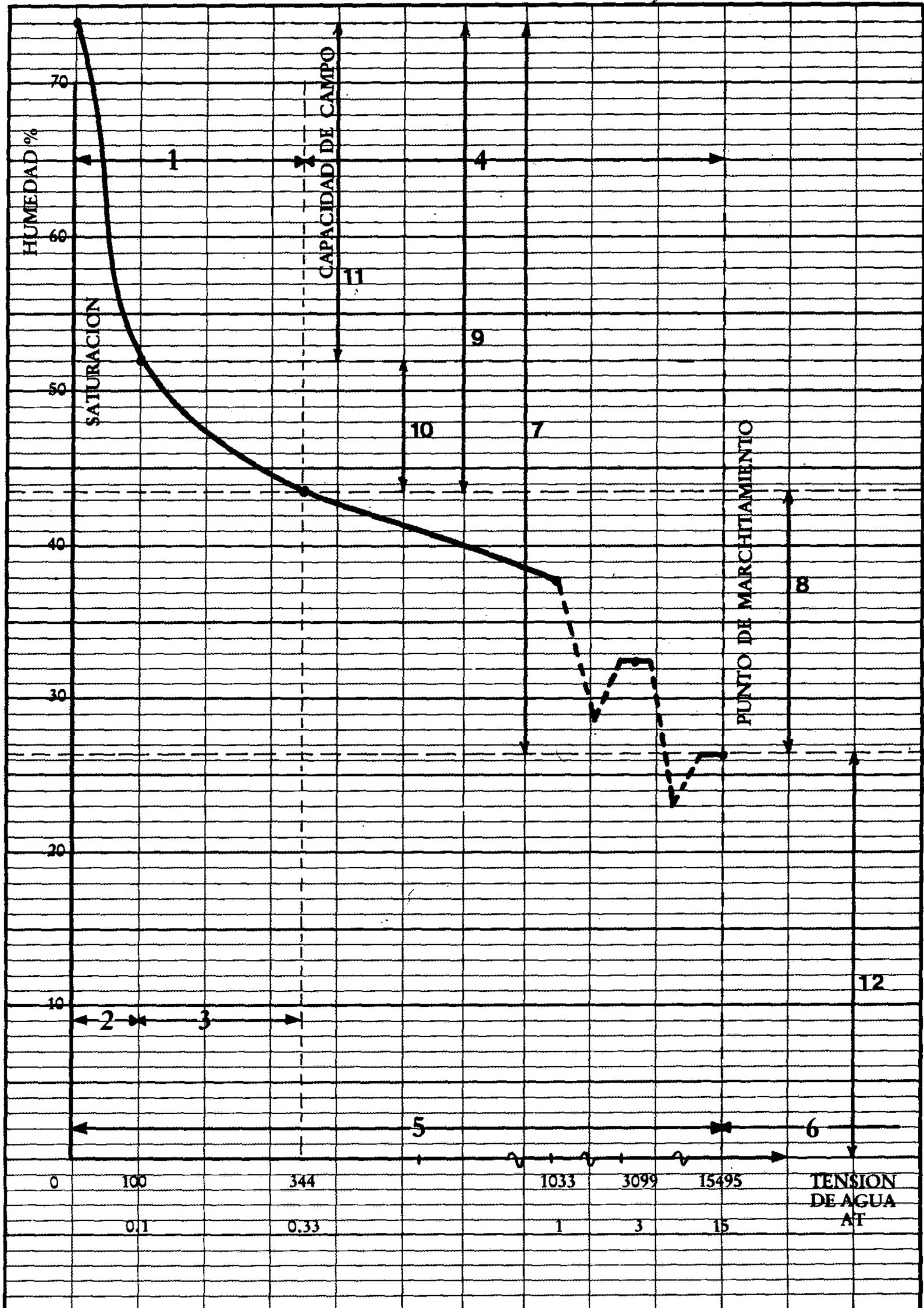
Muestras secas



**CAJA INSULAR
DE AHORROS**

GRAN CANARIA · LANZAROTE · FUERTEVENTURA

Servicio Agrícola



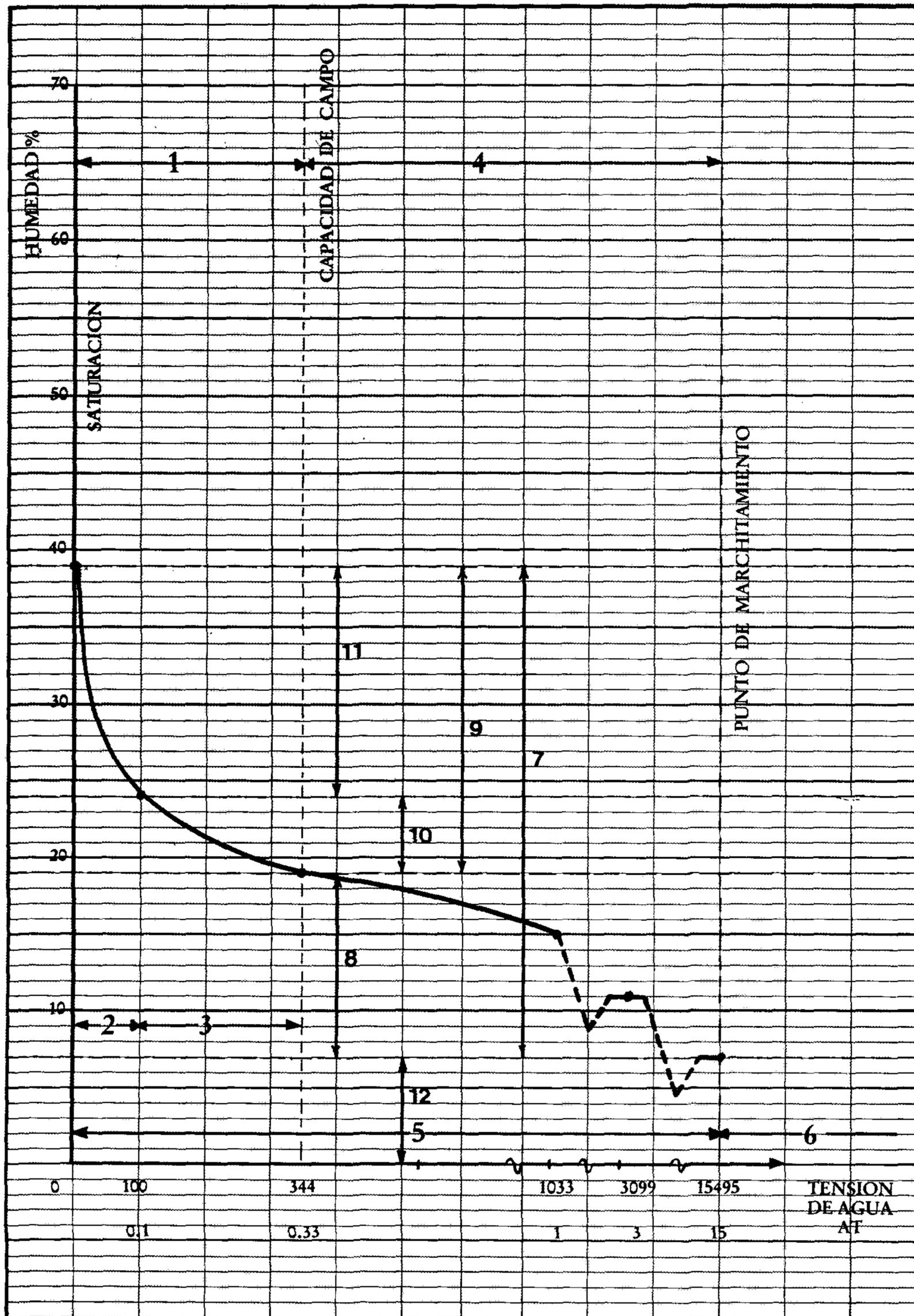
Ejemplo N.º 2.— Curva de pF. Suelo arcilloso.



**CAJA INSULAR
DE AHORROS**

GRAN CANARIA · LANZAROTE · FUERTEVENTURA

Servicio Agrícola



Ejemplo N.º 3.— Curva de pF. Suelo arenoso.

4.— EL SUELO

Propiedades físicas

El comportamiento del agua y del aire en un determinado suelo está ligado a las propiedades físicas del mismo.

| | | |
|------------------|--------------|------|
| I = Arena gruesa | 2,0 - 0,2 | mm 0 |
| II = Arena fina | 0,2 - 0,02 | mm 0 |
| III = Limo | 0,02 - 0,002 | mm 0 |
| IV = Arcilla | 0,002 | mm 0 |

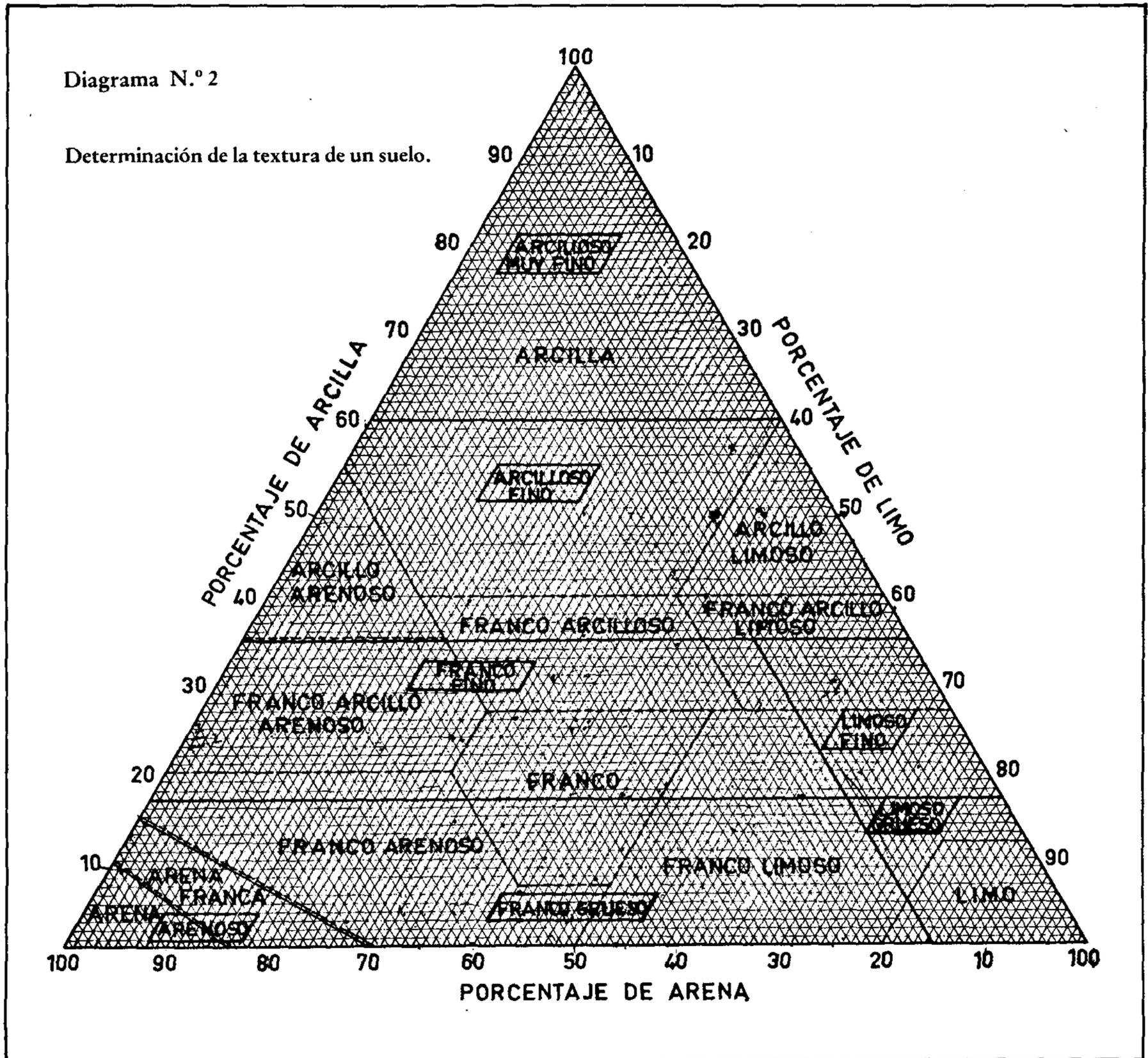
Las propiedades fundamentales son:

- Textura: Estudio y determinación del tamaño de las partículas.
- Estructura: Organización de las partículas formando agregados.

A la cantidad calculada de estas fracciones se debe añadir la materia orgánica y la caliza para obtener un porcentaje completo.

A partir de este análisis granulométrico, los suelos se clasifican dependiendo de la porción dominante en suelos de textura arcillosa, arenosa o limosa, llamándose asimismo suelos francos aquéllos donde la composición de estos componentes está más o menos equilibrada.

La clasificación de las partículas inferiores a 2 mm 0 según el Sistema Internacional es la siguiente:



La capacidad de retención de agua por los suelos está en relación en su textura. Así tenemos:

| Textura | Agua (g/m ³) |
|-----------------------|--------------------------|
| Arena gruesa | 40 - 100 |
| Franco arenoso | 100 - 175 |
| Franco, franco limoso | 150 - 200 |
| Franco arcilloso | 175 - 225 |
| Arcilloso | 175 - 250 |
| Estiércol y turba | 200 - 300 |

Las partículas individuales se unen formando agregados, mediante los coloides presentes en el suelo y estos agregados pueden estar reunidos en unidades de mayor dimensión llamados grumos.

En los suelos arenosos estos agregados son pocos y fáciles de descomponer y sin embargo en suelos limosos o arcillosos se forman fácilmente grumos de uno o más mm de diámetro.

Es importante por lo tanto cuando las conclusiones del estudio para el suelo no sea óptimo, tratar de modificar la composición de nuestro suelo añadiendo suelos con otras partículas a fin de que la textura y estructura de nuestro suelo sea el mejor.

Propiedades Químicas

La composición química de un suelo se determina mediante análisis. Ahora bien, ¿qué determinaciones químicas son interesantes desde el punto de vista agrícola?

Existen un grupo de determinaciones que se realizan sobre suelo seco: caliza, materia orgánica y nitrógeno total.

Otro grupo de determinaciones se efectúan sobre el extracto que se produce al añadir agua a una cantidad determinada de suelo. Esta disolución en unas condiciones determinadas experimentales, se denomina extracto saturado y contiene una serie de elementos al estado iónico que son muy importantes para la nutrición de las plantas. Los elementos que normalmente se analizan en este extracto son: Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio y Cloruro.

El tercer bloque de determinaciones analíticas se efectúa después de haber liberado a los cationes que están ligados al complejo del suelo con una sal amónica. A estos cationes así determinados se les llaman Cationes de Cambio.

Finalmente, se determina el Fósforo mediante cualquier método descrito en la bibliografía.

Valoración de los diferentes niveles obtenidos en el análisis de un suelo:

Materia Orgánica, (0/00).

| | |
|-------------|-----------|
| 0. - 12.5 | BAJO |
| 12.5 - 25.0 | MEDIO |
| 25.0 - 50.0 | NOTABLE |
| 50.0 - | EXCELENTE |

Nitrógeno Total, (0/00).

| | |
|-----------|-----------|
| 0 - 1.1 | BAJO |
| 1.1 - 2.0 | MEDIO |
| 2.0 - 3.0 | NOTABLE |
| 3.0 - | EXCELENTE |

Caliza, (0/0).

| | |
|---------------------|-------------|
| 8 Poder clorosante | MEDIO |
| 10 Poder clorosante | PELIGROSO |
| 15 Poder clorosante | PROHIBITIVO |

Recomendaciones:

De una manera general para alcanzar un nivel Notable de Materia Orgánica, hay que añadir por Ha. las siguientes cantidades de estiércol:

| Análisis | Estiércol |
|----------|-----------------|
| 5 - 8 | 25 - 30.000 Kg. |
| 8 - 12 | 20 - 25.000 » |
| 12 - 14 | 17 - 20.000 » |
| 14 - 17 | 14 - 17.000 » |
| 17 - 19 | 12 - 14.000 » |
| 10 - 20 | 10 - 12.000 » |



**CAJA INSULAR
DE AHORROS**

GRAN CANARIA · LANZAROTE · FUERTEVENTURA

Servicio Agrícola

Laboratorios Química
Fitopatología

Teléfonos: 700035 - 700126
700127 - 700218

Telex: 95043

Apartado: 854

Las Palmas de Gran Canaria - 2

Su referencia

*Laboratorio
nuestra referencia*

asunto ANALISIS QUIMICO DE SUELOS
REF./

| | | | |
|--|------------------|-----------|----------|
| EXTRACTO SATURADO | Saturación | % | 64,50 |
| | p H | | 6,97 |
| | Conductividad | mmho / cm | 1,75 |
| | Calcio | me / L | 8,89 |
| | Magnesio | " | 2,47 |
| | Potasio | " | 4,45 |
| | Sodio | " | 4,35 |
| | Cloruro | " | 3,76 |
| | Carbonato | " | |
| | Bicarbonato | " | |
| | Sulfato | " | |
| Nitrato | " | | |
| CATIONES DE CAMBIO | Calcio | ppm | |
| | Magnesio | " | |
| | Potasico | " | 1.908,90 |
| | Sodio | " | 259,90 |
| SUELO SECO | Carbono Orgánico | ‰ | 31,96 |
| | Materia Orgánica | " | 54,98 |
| | Nitrógeno | " | 3,63 |
| | Caliza | " | 54,02 |
| SOLUBLE EN Na HCO ₃ 0,5 N. | Fósforo | ppm | 772,30 |
| Relación de adsorción de sodio | SAR | | 1,82 |
| Porcentaje de sodio intercambiable | ESP | | |
| Relación Carbono Nitrógeno | C / N | | |

Ejemplo N.º 4.— Análisis Químico de suelo.

5.— LOS NUTRIENTES

Utilizando plantas cultivadas en una solución nutritiva, investigadores como Sachs, Knop y Pfeffer, establecieron que los elementos fundamentales para el normal desarrollo de las plantas eran siete, además del Carbono, Hidrógeno y Oxígeno. Estos elementos son: Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Potasio, Calcio, Magnesio e Hierro.

Posteriores investigaciones, con compuestos químicos mucho más puros y técnicas

mucho más refinadas, se ha establecido que por lo menos otros siete elementos adicionales son necesarios para el crecimiento de las plantas. Estos elementos son: Cobre, Manganeso, Molibdeno, Zinc, Boro, Sodio y Cloro. La necesidad de todos estos elementos en la nutrición de las plantas se comprueba si analizamos material vegetal.

Así, de plantas de trigo, podemos obtener los siguientes resultados:

Análisis de plantas de trigo

| Elemento | % planta | Elemento | % planta |
|----------|----------|----------------|----------|
| O | 44.4 | N | 25.9 |
| C | 43.6 | P | 3.6 |
| H | 6.2 | K | 16.4 |
| Cenizas | 5.8 | Ca | 4.0 |
| | 100.0 | Mg | 3.2 |
| | | S | 3.0 |
| | | Fe | 1.5 |
| | | Si | 20.8 |
| | | Al | 1.9 |
| | | Cl | 2.5 |
| | | Mn | 0.6 |
| | | No determinado | 16.6 |
| | | | 100.0 |

Las plantas, pues, necesitan principalmente para su nutrición: Oxígeno, Carbono e Hidrógeno —aire y agua— los cuáles están disponibles en cualquier medio de cultivo y otros elementos: nitrógeno, calcio, etc. que llegan a las plantas a través de las raíces mediante fenómenos de ósmosis y por tanto deben estar en la solución que se forma al añadir agua al suelo.

Esta solución contendrá los elementos solubles propios del suelo más los que añadamos al mismo mediante los métodos de abonado o fertilización.

Estos elementos solubles en la solución del suelo estarán en forma de iones y pasarán a la planta de esta forma.

Los iones correspondientes a los elementos enunciados son los siguientes: Ión nitrato (NO_3^-), Ión sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), Ión fosfato (H_2PO_4^-), Ión Calcio (Ca^{++}), Ión Potasio (K^+), Ión Magnesio (Mg^{++}), además de otros iones como Ión hierro, Ión Manganeso, etc...

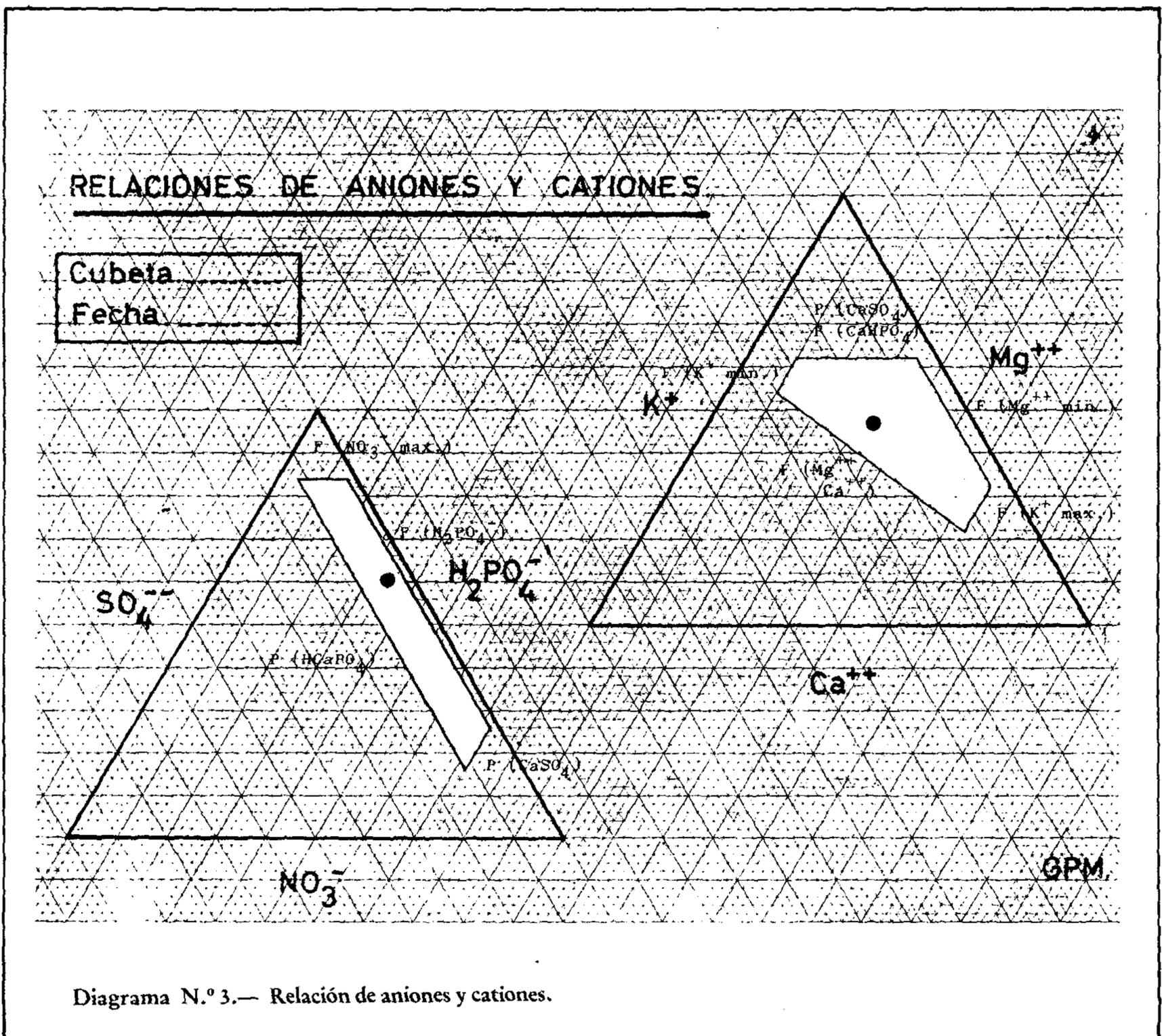
6.— SOLUCION NUTRITIVA

Por definición, una solución nutritiva, es una solución acuosa que contienen oxígeno disuelto y todos los nutrientes totalmente disociados.

Cualitativamente, esta solución debe tener todos los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta, es decir, potasio, calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo, cloro, sodio y los microelementos; cuantitativamente, estos elementos en forma iónica (nitrógeno en forma de nitrato, fósforo en forma de monofosfato y azufre en forma de sulfato), deben de estar en unas cantidades tales que su relación y su concentración total sea la más adecuada para la perfecta nutrición de un determinado cultivo.

No cabe duda, que la existencia de estos iones en disolución debe de estar regida por factores químicos (precipitación y pH) que limiten su existencia y concentración; además de los límites fisiológicos de máxima y mínima concentración, necesarios para la alimentación de una planta.

Estos factores, químicos y fisiológicos, a un determinado pH (considerando como óptimo en una serie grande de cultivos), se muestran en el diagrama siguiente, en donde P son los límites químicos como consecuencia de la aplicación de las leyes que gobiernan el producto de solubilidad y F son los límites fisiológicos de concentración, expresados en porcentajes de equivalentes.



Estos límites acotan unas zonas de concentración en una determinada solución nutritiva.

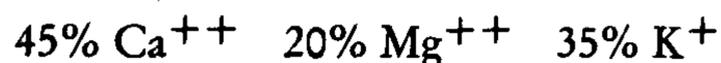
¿Cómo debe prepararse una solución nutritiva?

De acuerdo con las necesidades de la planta, nosotros debemos fijar tres factores fundamentales, los cuales definirán esta solución nutritiva.

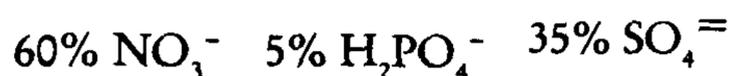
- a) La relación entre los diferentes iones, que debe ser fijada mediante la selección de un punto en cada diagrama triangular de aniones y cationes.
- b) La concentración total de la solución nutritiva; expresada en función de la presión osmótica y por tanto en atmósferas o mg-iones/litro.
- c) El pH.

Los estudios encaminados a encontrar una solución nutritiva adecuada para el cultivo del tomate y de otros productos hortícolas llevaron a la utilización de una solución señalada en el diagrama con un asterisco.

La relación de cationes en este punto, en equivalentes será:



Y la de aniones, en el punto correspondiente:



Fijemos el segundo factor, es decir, la presión osmótica. Experimentalmente se ha encontrado para un gran número de plantas, que 0.71 atm. es una presión osmótica correcta, y a esta presión osmótica, fijando la temperatura a 20° C, se encuentra aplicando la fórmula tan conocida $PV = nRT$, que corresponden 30 iones-mg por cada litro de solución.

Si hacemos las siguientes transformaciones:

| | NO_3^- | H_2PO_4^- | $\text{SO}_4^{=}$ | Ca^{++} | K^+ | Mg^{++} |
|----------|-----------------|---------------------------|-------------------|------------------|--------------|------------------|
| % Eq. | 60 | 5 | 35 | 45 | 35 | 20 |
| mg - ión | 60 | 5 | 17,5 | 22,5 | 35 | 10 |

La suma de los iones es 150, sin embargo, nosotros debemos añadir a la solución solamente 30 mg - ión/l; es decir, multiplequemos la anterior relación por 30/150.

| | | | | | | |
|------------|----|---|-----|-----|---|---|
| mg - ión/l | 12 | 1 | 3,5 | 4,5 | 7 | 2 |
| meq./l | 12 | 1 | 7 | 9 | 7 | 4 |

Esta última satisface las condiciones iniciales, es decir, la relación entre los diferentes iones y a la concentración total de la solución nutritiva.

Finalmente para llevar a la práctica estas cantidades, debemos saber de que sales disponemos para preparar la solución nutritiva y cuál es el análisis del agua a utilizar.

Si suponemos que el agua a utilizar no contiene iones, es decir, es por ejemplo, un

agua procedente de potabilizadoras (desalinizadoras) y los abonos de que disponemos para la preparación de la solución nutritiva son los que normalmente están en el mercado para abonado de cultivos convencionales, por ejemplo, superfosfato triple, nitrato cálcico, sulfato potásico y sulfato magnésico; una receta para preparar la anterior solución nutritiva, puede ser la siguiente:

| | NO_3^- | H_2PO_4^- | $\text{SO}_4^{=}$ | Ca^{++} | K^+ | Mg^{++} |
|---|-----------------|---------------------------|-------------------|------------------|--------------|------------------|
| Superfosfato $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ | | 1,0 | | 1,0 | | |
| Nitrato cálc. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 8,0 | | | 8,0 | | |
| Nitrato potásico KNO_3 | 4,0 | | | | 4,0 | |
| Sulfato potásico K_2SO_4 | | | 3,0 | | 3,0 | |
| Sulfato magnésico MgSO_4 | | | 4,0 | | | 4,0 |
| TOTAL | 12,0 | 1,0 | 7,0 | 9,0 | 7,0 | 4,0 |

Si multiplicamos estos equivalentes por el peso equivalente de cada sal, obtenemos las siguientes cantidades expresadas en mg/l. ó g./m³:

| | |
|------------------------------|------------------------|
| Superfosfato triple 40 - 45% | $1,0 \times 147 = 147$ |
| Nitrato cálcico 15,5% | $8,0 \times 95 = 760$ |
| Nitrato potásico 95% | $4,0 \times 106 = 424$ |
| Sulfato potásico | $3,0 \times 87 = 261$ |
| Sulfato magnésico 7 aq. | $4,0 \times 123 = 492$ |

Es decir, que pesando estas cantidades, en gramos por ejemplo, y disolviéndolas en un metro cúbico de agua, obtendremos una

solución nutritiva de la concentración deseada.

Esta solución debe completarse con los microelementos fundamentales, y que según la bibliografía existente deben de estar presentes en la solución nutritiva en la siguiente concentración:

| | | | | | |
|----|-----|-----|------|------|-----------|
| Fe | Mn | B | Zn | Cu | Mo |
| 2 | 0,7 | 0,5 | 0,09 | 0,02 | 0,44 ppm. |

La adición de estos elementos debe ser a base de sales inorgánicas o como quelato (EDTA) en el caso del hierro.

Finalmente, el tercer factor a ajustar en la solución nutritiva, es el pH, cuando se prepara la solución nutritiva, la adición de sales no debe modificar el pH inicial del agua utilizada, sin embargo, si es necesario hacer algún ajuste debe efectuarse añadiendo pequeñas cantidades de ácido nítrico o hidróxido potásico hasta obtener el pH deseado.

Cuando utilizamos aguas de pozos a galerías que en su composición química entren elementos nutrientes en cantidades apreciables deben tenerse en cuenta la composición de estas y compensar la fórmula con su aportación cuantitativa, así si un agua de pozo tiene un análisis tal como este:

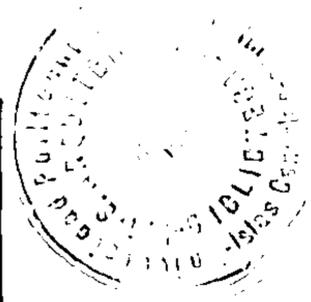
| | | |
|-----|-----|-----|
| Ca | Mg | K |
| 6,2 | 7,4 | 0,5 |

y si deseamos preparar una solución como la del ejemplo anterior debemos aportar la diferencia con fertilizantes,

| | | | | |
|-----------------|--------------------------------|-----|----|-----|
| NO ₃ | PO ₄ H ₂ | Ca | Mg | K |
| 12 | 1 | 2,8 | — | 6,5 |

Una fórmula de abonado puede ser:

| | NO ₃ | PO ₄ H ₂ | Ca | K |
|---------------------|-----------------|--------------------------------|-----|-----|
| Nitrato cálcico | 2,8 | | 2,8 | |
| Nitrato potásico | 6,5 | | | 6,5 |
| Fosfato monoamónico | 1 | 1 | | |
| Sulfato amónico | 1,7 | | | |



Que expresados en mg/l. ó g./m³

| | |
|---------------------|-----------------|
| Nitrato cálcico | 2,8 x 98 = 275 |
| Nitrato potásico | 6,5 x 101 = 650 |
| Fosfato monoamónico | 1 x 115 = 115 |
| Sulfato amónico | 1,7 x 66 = 110 |

Otro ejemplo de solución nutritiva para tomates es la utilizada en el cultivo "Rock-wool" (lana de piedra). Se utiliza la siguiente:

| | | | | | |
|------------------------------|---|------------------------------|------------------|----------------|------------------|
| NO ₃ ⁻ | PO ₄ H ₂ ⁻ | SO ₄ ⁼ | Ca ⁺⁺ | K ⁺ | Mg ⁺⁺ |
| 12,0 | 1,5 | 6,0 | 7,0 | 7,5 | 5,0 |

Donde se observa menor cantidad de calcio que en las soluciones anteriores, por la

aportación de pequeñas cantidades de este ión a la solución por el propio sustrato.